

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-243705

(43)Date of publication of application : 29.08.2003

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 2002-071027

(71)Applicant : LUMILEDS LIGHTING US LLC

(22)Date of filing : 07.02.2002

(72)Inventor : STEIGERWALD DANIEL A
LUDOWISE MICHAEL J
MARANOWSKI STEVEN A
RUDAZ SERGE L
BHAT JEROME C

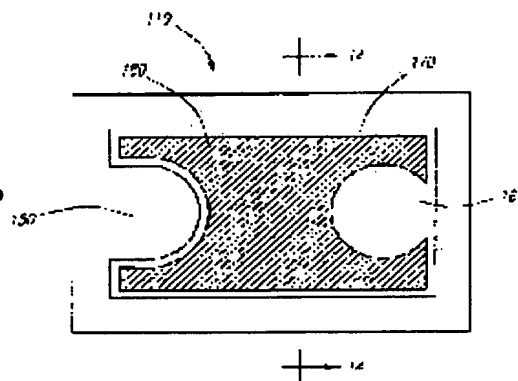
(54) LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR METHOD AND DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device and a method employing III-V nitride-based semiconductors and to improve the operation thereof.

SOLUTION: A light emitting device comprises a plurality of semiconductor layers, an active region within the layers, and first and second metal electrodes contacting different semiconductor layers. The light emitting device also comprises a migration barrier for preventing migration of metal from at least one of the electrodes to the semiconductor layer in contact with the electrode.

In some embodiments, one of the electrodes is silver and the semiconductor layers are III-V nitride-based semiconductor layers. In some embodiments, the migration barrier is a guard ring around the periphery of at least one of the electrodes. In other embodiments, the migration barrier is a guard sheet that covers the surface of at least one of the electrodes.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-243705
(P2003-243705A)

(43) 公開日 平成15年8月29日 (2003.8.29)

(51) Int.Cl.⁷
H01L 33/00

識別記号

F I
H01L 33/00

テーマコード(参考)
C 5 F 0 4 1
E

審査請求 未請求 請求項の数50 O L 外国語出願 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2002-71027(P2002-71027)

(22) 出願日 平成14年2月7日(2002.2.7)

(71) 出願人 500507009

ルミレッズ ライティング ユーエス リ
ミテッドライアビリティ カンパニー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95131 サン ホセ ウェスト トリンプ
ル ロード 370

(72) 発明者 ダニエル エイ スタイガーウォルド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95014 クーパーティノ ロックウッド
ドライブ 10430-ビー

(74) 代理人 100059959
弁理士 中村 稔 (外9名)

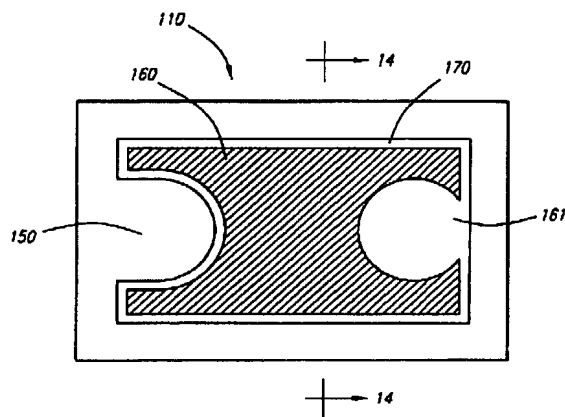
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光半導体の方法及び装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 III-V族窒化物半導体を用いるデバイス及び方法、並びにこれの動作の改良に関する。

【解決手段】 発光デバイスは、複数の半導体層と、層内の活性領域と、異なる半導体層に接触する第1及び第2の金属電極とを含む。発光デバイスはまた、少なくとも1つの電極から、該電極と接触している半導体層への金属のマイグレーションを防ぐためのマイグレーション障壁を含む。いくつかの実施形態において、電極の1つは銀であり、半導体層はIII-V族窒化物半導体層である。いくつかの実施形態において、マイグレーション障壁は、少なくとも1つの電極の周縁を取り囲む保護リングである。別の実施形態において、マイグレーション障壁は、少なくとも1つの電極の表面を覆う保護シートである。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の半導体層を有し、前記層内に活性領域を含む半導体構造と、

前記構造における異なる半導体層のそれぞれに接する第1及び第2の導電性の金属電極と、

少なくとも1つの前記電極から、前記少なくとも1つの電極が接触している半導体層の表面へ金属がマイグレーションすることを防ぐためのマイグレーション障壁と、を含むことを特徴とする発光デバイス。

【請求項2】 前記少なくとも1つの電極が、銀を含有する電極からなることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】 前記デバイスがさらに、前記第1及び第2の電極に電気信号を印加するための方法を含み、前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極から前記電極が接触している前記半導体層の表面上への金属の電気化学的マイグレーションを防ぐように作動することを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項4】 前記デバイスがさらに、前記第1及び第2の電極に電気信号を印加するための手段を含み、前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極から前記電極が接触している前記半導体層の表面上への金属の電気化学的マイグレーションを防ぐように作動することを特徴とする請求項2に記載のデバイス。

【請求項5】 前記複数の半導体層が、III-V族窒化物半導体のn型層と、III-V族窒化物半導体のp型層とを含み、前記少なくとも1つの電極が前記p型層上に付着されることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項6】 前記複数の半導体層が、III-V族窒化物半導体のn型層、及びIII-V族窒化物半導体のp型層を含み、前記少なくとも1つの電極が前記p型層上に付着されることを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項7】 前記デバイスが、前記p型層と前記n型層との間のpn接合に発光活性領域を含むことを特徴とする請求項5に記載のデバイス。

【請求項8】 前記デバイスが、前記p型層と前記n型層との間のpn接合に活性発光領域を含むことを特徴とする請求項6に記載のデバイス。

【請求項9】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の周縁を取り囲む保護リングを含むことを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項10】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の周縁を取り囲む保護リングを含むことを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項11】 前記保護リングが前記少なくとも1つの電極と接することを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項12】 前記保護リングが前記少なくとも1つ

2

の電極と接することを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項13】 前記保護リングが前記少なくとも1つの電極から間隔をおいて配置されることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項14】 前記保護リングが前記少なくとも1つの電極から間隔をおいて配置されることを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項15】 前記保護リングが前記少なくとも1つの電極の電位に対して正の電位に保たれることを特徴とする請求項13に記載のデバイス。

【請求項16】 前記保護リングが前記少なくとも1つの電極の電位に対して正の電位に保たれることを特徴とする請求項14に記載のデバイス。

【請求項17】 前記保護リングが、前記少なくとも1つの電極が接触している前記半導体層の表面の一部を覆うことを特徴とする請求項11に記載のデバイス。

【請求項18】 前記保護リングが、前記少なくとも1つの電極が接触している前記半導体層の表面の一部を覆うことを特徴とする請求項13に記載のデバイス。

【請求項19】 前記保護リングがほぼ階段形の断面を有し、前記少なくとも1つの電極の縁を覆うことを特徴とする請求項11に記載のデバイス。

【請求項20】 前記保護リングがほぼ階段形の断面を有し、前記少なくとも1つの電極の縁を覆うことを特徴とする請求項12に記載のデバイス。

【請求項21】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の表面を覆う保護シートからなることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項22】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の表面を覆う保護シートからなることを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項23】 前記保護リングが導電性の材料からなることを特徴とする請求項10に記載のデバイス。

【請求項24】 前記保護リングが導電性の材料からなることを特徴とする請求項22に記載のデバイス。

【請求項25】 前記導電性の材料が導電性の金属であることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

【請求項26】 前記導電性の材料が導電性の金属であることを特徴とする請求項24に記載のデバイス。

【請求項27】 前記導電性の金属が、Ni、Ti、W、Al、Cr、Cu、Au、Sn、Rh、Re、Ruの少なくとも1つを含有する金属を含むことを特徴とする請求項25に記載のデバイス。

【請求項28】 前記導電性の金属が、Ni、Ti、W、Al、Cr、Cu、Au、Sn、Rh、Re、Ruの少なくとも1つを含有する金属を含むことを特徴とする請求項26に記載のデバイス。

【請求項29】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の縁を覆うエッジプロテクタ部分

と、前記エッジプロテクタ部分と前記少なくとも1つの電極の少なくとも一部とを覆う保護シートを含むことを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項30】 前記マイグレーション障壁が、前記少なくとも1つの電極の縁を覆うエッジプロテクタ部分と、前記エッジプロテクタ部分と前記少なくとも1つの電極の少なくとも一部とを覆う保護シートを含むことを特徴とする請求項2に記載のデバイス。

【請求項31】 前記エッジプロテクタ部分が誘電体材料からなることを特徴とする請求項30に記載のデバイス。

【請求項32】 III-V族窒化物半導体のn型層とIII-V族窒化物半導体のp型層との間の発光活性領域を含む半導体構造と、

前記p型層上に付着された、銀を含有する金属を含むp電極と、

前記n型層と接合したn電極と、

前記電極に電気信号を印加して活性領域から発光させる方法と、

前記p電極から活性領域への銀イオンの電気化学的マイグレーションを防ぐためのマイグレーション障壁と、を含むことを特徴とする発光デバイス。

【請求項33】 前記マイグレーション障壁が、前記p電極の周縁を取り囲む保護リングを含むことを特徴とする請求項32に記載のデバイス。

【請求項34】 前記保護リングがp型層の一部を覆うことを特徴とする請求項33に記載のデバイス。

【請求項35】 前記保護リングが前記p電極に接触することを特徴とする請求項33に記載のデバイス。

【請求項36】 前記保護リングが前記p電極から間隔をおいて配置されることを特徴とする請求項33に記載のデバイス。

【請求項37】 前記保護リングが前記p電極の電位に対して正の電位に保たれることを特徴とする請求項36に記載のデバイス。

【請求項38】 前記保護リングがほぼ階段形の断面を有し、前記電極の縁を覆うことを特徴とする請求項35に記載のデバイス。

【請求項39】 前記マイグレーション障壁が、前記電極の表面を覆う保護シートを含むことを特徴とする請求項32に記載のデバイス。

【請求項40】 前記保護リングが導電性の材料を含むことを特徴とする請求項33に記載のデバイス。

【請求項41】 前記保護シートが導電性の材料を含むことを特徴とする請求項39に記載のデバイス。

【請求項42】 前記導電性の材料が導電性の金属であることを特徴とする請求項40に記載のデバイス。

【請求項43】 前記導電性の材料が導電性の金属であることを特徴とする請求項41に記載のデバイス。

【請求項44】 前記導電性の金属が、Ni、Ti、

W、Al、Cr、Cu、Au、Sn、Rh、Re、Ruの少なくとも1つを含有する金属を含むことを特徴とする請求項42に記載のデバイス。

【請求項45】 前記導電性の金属が、Ni、Ti、W、Al、Cr、Cu、Au、Sn、Rh、Re、Ruの少なくとも1つを含有する金属を含むことを特徴とする請求項43に記載のデバイス。

【請求項46】 III-V族窒化物半導体のn型層とIII-V族窒化物半導体のp型層との間に発光活性領域を含む半導体構造を形成し、

前記p型層上に銀を含有する金属を含むp電極を、前記n型層上にn電極を付着させ、

前記p電極から活性領域への銀イオンの移動を防ぐために、前記p電極の周りに導電性のマイグレーション障壁を設ける、ステップを含むことを特徴とする発光デバイスを製造するための方法。

【請求項47】 前記導電性のマイグレーション障壁を設けるステップが、前記p電極の周縁を取り囲む保護リングを設けることを含むことを特徴とする請求項46に記載の方法。

【請求項48】 前記導電性のマイグレーション障壁を設けるステップが、前記p電極の周縁を取り囲む保護シートを設けることを含むことを特徴とする請求項46に記載の方法。

【請求項49】 前記保護リングを設けるステップが、前記p電極に接触する保護リングを設けることを含むことを特徴とする請求項47に記載の方法。

【請求項50】 前記保護リングを設けるステップが、前記p電極から間隔をおいて配置される保護リングを設けることを含むことを特徴とする請求項47に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光半導体の構造及び製造方法に関し、より詳細には、III-V族窒化物半導体を用いるデバイス及び方法、並びにこれの動作の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】種々の可視スペクトル領域で発光する発光半導体、例えば、砒化アルミニウムガリウム及びリン化ガリウムなどのようなIII-V族半導体は、様々な応用に関して商業的に受け入れられている。しかしながら、例えば、交通信号灯に用いられる緑色や、白色照明に用いられる赤・緑・青の原色の組み合わせにおける一成分である青色のような青色又は緑色光を必要とする用途において、短い可視波長での効果的な半導体発光体が求められてきた。このような固体発光源が手頃な費用で入手できる場合には、半導体動作を特徴付ける信頼性及び低いエネルギー消費量という利益を、多くの照明用途において受けることができる。短波長デバイスはまた、

記憶媒体における書き込み及び読み出しのための小さいスポットサイズが得られることから、記憶媒体の記憶容量を増加させることが期待できる。

【0003】炭化ケイ素を用いる青色発光ダイオードは、1990年代前半に開発されたが、間接バンドギャップ輝度を呈し、デバイスの実用性が制限されていた。II-VI族材料であるセレン化亜鉛もまた、青色発光を呈する。また、炭化ケイ素デバイスだけでなく、セレン化亜鉛青色発光ダイオードも、耐用年数が比較的短く、有用性が制限されることが見出されている。

【0004】直接エネルギーバンドギャップを有し、優れて有望であることが示された短波長発光型デバイスは、例えばGa₂N、AlN、InN、AlInN、GaInN、AlGa₂N、AlInGa₂N、BaIn₂N、BiInN、BGa₂N、及びBaAlGaInN等のような物質を含むIII-V族窒化物半導体に基づくものである。この種の発光デバイスの一例が、ヨーロッパ特許出願EP 0926744に記載されており、この特許出願では、III-V族窒化物半導体のn型層とIII-V族窒化物半導体のp型層との間に活性領域を有する発光デバイスが開示される。ダイオード構造のn層及びp層に電位を印加すると、正孔と電子との再結合により活性領域にフォトンが発生することになる。発光ダイオード(LED)構造におけるウォールブラグ効率は、単位電力当たり、デバイスから射出された光強度として定義される。効率を最大にするために、駆動電力のワット当たり発生した光と、LEDからの有効方向への発光量との両方が考慮される。

【0005】上記のEP特許出願に記載されたように、従来技術による手法では、活性領域から発生した光を最大限にするために多くの努力が費やされてきた。p型のIII-V族窒化物半導体層の抵抗は、n型のIII-V族窒化物半導体層の抵抗よりも遥かに大きい。p型層とp電極との接合部は、n型層とn電極との接合部よりも本質的に抵抗が大きい。p型層とp電極との接合部における電圧降下を低減させるために、p電極は一般にn電極よりも大きく作られる。しかしながら、p電極の寸法を大きくすると、活性領域から得られる光の量を増加させることができるが、この多くの光はp電極を通り抜ける必要があるため、デバイスから放出される光の割合が減少することになる。したがって、p電極の透過率を最大にするための試みがなされてきた。

【0006】引用したEP出願に開示される実施形態において、p型層は、透明なほど十分に薄い銀層とすることができる。銀は、p型のIII-V族窒化物半導体層において有利にオーミックコンタクトを形成する、ということが注目されている。銀電極上に金属ボンディングパッドが付着される。引用したEP特許出願の別の実施形態において、銀層は、入射光の大部分を反射するのに十分な厚さを有し、光は基板を経由して抜け出る。ニック

ルとすることもできる別の金属層などのような固定層を、銀層を覆うように塗布しても良いし、銀層の側面に塗布しても良く、コンタクトボンディングパッドの金属(例えば金)が銀層の中へ拡散するのを防ぐことができる。拡散障壁層はまた、下にある銀層の安定性を向上させ、銀層の機械的及び電気的特性を向上させると述べられている。これにより、銀層が形成される蒸着工程において基板温度を低くすることができ、蒸着速度を増すことができる。

10 【0007】

【発明が解決しようとする課題】III-V族窒化物LEDにおける少なくともp電極についての銀の使用にはいくつかの利点があるが、いくつかの欠点と制限に悩まされる。例えば、このようなデバイスにおいて深刻な性能の劣化が起こるまでの作動寿命は、許容できないほど短いことが分かっている。本発明の目的の1つは、III-V族窒化物LEDにおけるこれら欠点及び制限を対象とするものである。

【0008】

20 【課題を解決するための手段】1998年9月11日に出願された、出願係属中の米国特許出願第09/151,554号、発明の名称「微細パターンの反射性コンタクトを有する発光デバイス」では、AlInGa₂N-LEDの内部反射光は、特にp層コンタクトにより吸収されやすいということに注目している。電流は、半導体層中で横方向に広がることのできないので、このコンタクトは、p-n接合の発光領域全体を本質的に覆う必要がある。p型エピタキシャル層の導電率が極めて低いことから、電流は、コンタクト金属の下に、又は約1μm以内のコンタクトの縁に直接閉じ込められる。このパラグラフで引用した出願係属中の米国特許出願により開示されたデバイスでは、p-コンタクト(すなわち、II-V族窒化物半導体のp型層に結合された電極)は、小さい開口のパターンを有する1つ又は多重の金属層を備える。使用される1つ又はそれ以上の金属は、銀、アルミニウム、ロジウム、及びこれらの合金からなる群から選択されることが好ましい。図示した電極すなわちコンタクトは、銀層の正孔のパターンをエッチングすることで得られる多孔性の銀メッシュである。二酸化ケイ素、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、又は酸化チタンなどのような、好ましくは屈折率が1.5よりも大きい任意の誘電性包囲体を、p-コンタクトを覆うように付着させても良い。包囲体は、光を銀鏡の下ではなく上に内部反射させ、減衰することなく抜け出る機会を増やす。さらに、包囲体は、表面のオープンスペースに金属を接合させることで、銀フィルムとLED表面との密着性を向上させる。誘電体はまた、製造中に生じることがある擦り傷から金属層を保護し、酸化又は曇りなどのような環境劣化からも保護する。従来技術では、不透明なコンタクト(すな

わちコンタクトパッド)を用いるときには、LEDは典型的に、LED表面の不透明さを最小限にするために、コンタクトができる限り小さくなるように設計されていた。このパラグラフで引用した出願係属中の米国特許出願の発明では、微細なパターンが形成された電極で表面を全体的に又は望ましい分だけ被覆することができ、また、該電極を必要な分だけ厚く作ることができ、これら特性は共に、接触抵抗を最小にするように働く。また、このパラグラフで引用した出願係属中の米国特許出願に記載されるように、光は、直接或いは1つ又はそれ以上の反射の後に、銀電極の小さい開口から抜け出ることができる。小さい開口の使用は、現在では、必ずしも好ましいことではない。

【0009】本発明者らは、銀電極メタライゼーションが、湿気と、電場、例えばデバイスのコンタクトで作動電圧を印加した結果として生じる電場とが存在する状態において、電気化学的マイグレーションを起こすことを認識した。銀メタライゼーションがデバイスのpn接合に電気化学的マイグレーションすることによって、接合を横切る別の分路が生じ、デバイスの効率が低下する。

【0010】本発明の形態によると、複数の半導体層を有し層内に活性領域を含む半導体構造を備える発光デバイスが形成される。第1及び第2の導電性の金属電極は、構造体における異なる半導体層とそれぞれ接触する。前記少なくとも1つの電極から、前記少なくとも1つの電極が接触している半導体層への金属のマイグレーションを防ぐために、マイグレーション障壁が設けられる。

【0011】本発明の1つの好ましい実施形態において、III-V族窒化物半導体のn型層とIII-V族窒化物半導体のp型層との間に発光活性領域を含む、半導体構造からなる発光デバイスが形成される。銀金属からなるp電極がp型層上に付着され、n電極はn型層に結合される。前記電極に電気信号を印加して活性領域から発光させる手段が設けられ、p電極から活性領域への銀金属の電気化学的マイグレーションを防ぐために、マイグレーション障壁が設けられる。

【0012】開示の実施形態において、マイグレーション障壁は、p電極の周縁を取り囲む保護リング、又はp電極を覆う保護シートを含む。保護リング又は保護シートは、導電性の金属或いは半導体のような、適切な条件下で電気化学的マイグレーションを起こさない導電性材料を含むことが好ましい。

【0013】本発明の更なる特徴及び利点は、添付の図面に関連した以下の詳細な説明からさらに容易に明らかとなるであろう。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は、底部反射層112と、例えばサファイア、SiC、又はGaN基板とすることが

できる基板115と、例えばn型GaNのようなIII-V族窒化物半導体のn型層120と、例えばp型GaNのようなIII-V族窒化物半導体のp型層140とを含むIII-V族窒化物発光ダイオード(LED)110を表す。活性領域130は、それ自体をpn接合とすることもできるし、より典型的には、例えばInGaNとAlGaNとを用いる別のIII-V族窒化物の障壁層間におけるIII-V族窒化物の単一量子井戸又は多重量子井戸とすることもできる。(あらゆる適当なIII-V族窒化物半導体を、デバイスの半導体層のいずれにも使用することができ、しかも、デバイスに適当な付加的な半導体層を使用してもよい。)導電性の金属電極150(n電極)をn型層120上に付着させ、導電性の金属電極160(p電極)をp型層140上に付着させる。最初に述べたように、p電極は通常、n電極よりも面積が広い。上で引用した出願係属中の米国特許出願第09/151,554号に記載されるように、p電極160と反射体112は、有利な導電性及び光反射特性を有する銀金属から構成することができ、p型層140とオーミックコンタクトを形成することができる。銀電極160は、上で引用した出願係属中の出願に記載されるように、開口のパターンを有する銀メッシュから構成することができる。微細にパターン形成された電極で、p層の表面全体又は望ましい分だけを覆うことができるし、必要とされる厚さにすることができ(これらの特性の両方は、コンタクトの抵抗を最小にするように機能する)、光は、p電極の開口を通して、直接或いは1回又はそれ以上の反射を経て抜け出ることができる。p電極160上にコンタクトパッド161が付着される。電極(すなわちコンタクト)150とコンタクトパッド116に、リード116及び117をそれぞれ取り付け、該リードに適当な電位を印加することができる。

【0015】図2は、図1に示す一般的な型式のデバイスの平面図を示し、図3は、図2のデバイスの一部の簡略化した断面図である。図2及び図3において、上述のように、銀のメッシュ状のp電極は160で、pコンタクトパッドは161(図2)で、n電極は150で示される。図3では、p型層は140で、n型層は120で、pn接合(この簡略化した図には示されない活性領域を位置させることができる)は130Aで表される。

【0016】出願人らは、湿気と、デバイスのコンタクトに作動電圧を印加した結果として生じた場などのような電場の存在下において、銀電極のメタライゼーションが電気化学的マイグレーションを起こすことを認識した。デバイスのpn接合への銀メタライゼーションの電気化学的マイグレーションが起こると、接合部と交差する別の分路が生じ、デバイスの効率が低下する。

【0017】図4は、例示的な銀電極の近傍に生じ、pn接合への銀のマイグレーションを引き起こす電位の傾きの種類を示す。例えば、例示的なn型層120(この

例ではn型Ga_{0.4}N)に対してnコンタクト150が接地電位であり、例示的なp電極層160(この場合は銀)が電位+Vであると仮定する。例示的なp型層140(この例では、一般にn型Ga_{0.4}Nよりもかなり高い抵抗率を有するp型Ga_{0.4}N)の等電位面(図4の断面図中の線で示される)は、電位 V_1 、 V_2 、 V_3 、……として図に示されており、ここで、 $V > V_1 > V_2 > V_3 > \dots$ である。従って、この電位の傾きの影響下において、溶解した銀の陽イオンが、層140の表面に沿ってpn接合(この例では、例示的な活性領域130が位置する)に移動して、デバイス動作を低下させる分路を生じることがある。

【0018】金属マイグレーションによって引き起こされる効率性の低下は、図5から図10に明らかに示される。図5及び図6は、加速信頼性試験を行う前の、図2に概略的に示す型式のデバイスのSEM写真である。図5は、上端部から底部までの、銀のメッシュ状の電極と、p型層と、pn接合(湾曲した太い白線)と、n型層とを、倍率500倍で示す。図6は、より高倍率(2000倍)での同様のSEM写真である。これらの写真において、pn接合への銀のマイグレーションは認められない。図7及び図8は、直流20mAにおいて摂氏85度、相対湿度85%の条件下で加速信頼性試験を行った後の、同様の発光ダイオードデバイスのSEM写真(それぞれ倍率2500倍及び16000倍)である。銀のマイグレーションは、EDXによって確認され、pn接合での銀の溶滴(輝点)の生成が見受けられた。図9は、図5、図6(加速信頼性試験の実施前。図9のグラフにおける方形の点)、及び図7、図8(加速信頼性試験の実施後。図9のグラフにおける丸型の点)のデバイスに関する、順電流(I)の関数としての出力光(L)のグラフである。電気化学的マイグレーション(表示のストレス試験後の)を示すデバイスにおける測定可能な出力光の著しい低下は、pn接合で分流していることを表す。図10は、順方向バイアスI-V曲線を示し(それぞれのデバイスの状態について同じグラフ点記号、すなわち、信頼性試験のストレスを加える前については正方形の点、試験のストレスを加えた後については円形の点を用いる)、ストレスを加えたデバイスに関するI-V曲線の崩れが明らかであり、pn接合を短絡する別の伝導経路の存在が示される。

【0019】図11及び図12は、pn接合への電極金属(この実施形態では銀)のマイグレーションを防ぐためにマイグレーション障壁を使用する、本発明の実施形態を示す。図2及び図3における要素と対応する要素をそれぞれ同じ参照番号で表す図11及び図12の実施形態において、マイグレーション障壁はp電極160の周囲を取り囲むように形成される保護リング170である。保護リングは、導電性の金属などのような高い電気伝導率の材料であることが好ましい。図11及び図12

に見出されるように、保護リング170は電極の周囲全体を取り囲むことが好ましい。

【0020】図13は、導電性の保護リング及び/又は保護シートの形態の、ここでの実施形態のマイグレーション障壁保護のように作用して、p型層140の表面に沿ってpn接合における活性領域に向かう金属の有害なマイグレーションを防ぐかを示す。図13に示すように、周縁がp型層140と接触する線に沿う少なくとも銀p電極160の縁は、保護リング170によって取り囲まれる。図から見出されるように、この例において(図4の例と同様に)、p電極は電位+Vであり、従って導電性の金属保護リングも電位+Vとなる。また、等電位面(断面図中の線)は、電位 V_1 、 V_2 、 V_3 、……として示されており、ここで、 $V > V_1 > V_2 > V_3 > \dots$ である。この場合、銀電極160の周縁を取り囲む(及び、保護リング170の下)のp型層160の表面は、ほぼ電位+Vとなり、銀電極160の縁における、たとえあるとしてもごくわずかな電位の傾きにより、p型層の表面に沿ってデバイスのpn接合に向かう銀の移動が起こることがある。

【0021】一般に、高い導電性の材料であればどのような材料も、保護リング又は保護シートとして用いることができる(以下に説明する)。例えば、Ni、Ti、W、Al、Cr、Cu、Au、S、Rh、Re、Ru、又はこれらの組み合わせ又は合金を用いることができる。さらに、ある種の安定な導電性の化合物又は半導体化合物、例えば、金属ケイ化物、金属窒化物、又は高濃度にドーパされた半導体を使用することができる。一般に、必要とされる特性は、(1)銀及びp型III-V窒化物半導体への密着性、(2)銀の境界における電場を無効にするのに十分な導電性、(3)付着法の適合性、(4)材料パターン加工法の適合性、(5)湿気のある環境において、電場の存在下での選択された金属についての電気化学的マイグレーションがないこと、(6)銀に関する相互溶解性及び反応性が制御されていること、である。列挙した材料は、例示的なものであり、他の適当な材料を使用することもできることが理解されるであろう。

【0022】図14は、図11の矢印14-14によって定められる断面を通じて見た、簡略化された断面図を示し、上に参照した係属中の米国特許出願第09/151,554号に記載されるようなp電極パターンの開口167を図示する。金属の保護リング170は、電極の開口による透過率が影響を受けないように形成されることが分かる。

【0023】図15は、マイグレーション障壁が導電性の保護シート175である更なる実施形態を示す。このタイプの形状は、p電極が不透明であり、pn接合で発生した光が、フリップチップと呼ばれる垂直LED構造型などのようなデバイスから、他の方法で取り出される

用途で有利に用いることができる。保護シートはまた、例えば酸化スズインジウムを用いる光学的に透過性のある導電性保護シートを設けることで、透明な、又は部分的に透過性のあるp電極と組み合わせて使用することができる。

【0024】他のデバイス構造にも本発明の原理を使用することができる。保護リング又は保護シート導体は、保護導体により遮断されていないpn接合から銀への表面電気通路が無いように、銀を全面的に取り囲むことが好ましい。換言すれば、銀の全周縁が保護導体によって覆われることが好ましい。保護シートは、構造体の動作寿命の間に、エッチング液及び他の物質が浸透して前記銀層と反応するのを防ぐ物理的障壁を与えるように、下にある銀全体を覆うことが好ましい。p金属が不透明となるように意図される場合には、保護リング構造も充分に役割を果たすものではあるが、保護導体により銀を完全に取り囲むことが、最も簡単かつ効果的である(例えば図15又は図16)。p金属が、ある程度まで光学的に透過性であるように作られている場合には、関係する波長において保護導体が光学的に透明でないのであれば、保護リングが好ましい。上記のように、透明な保護シート(例えば酸化スズインジウム)を使用することができる。

【0025】保護シートは、他の方法により電気接続又はデバイス製作を向上させる付加的な層又は材料を含むことができる。例えば、銀イオン種と化学反応する材料の層を含むことができる。この反応は、イオン種から不溶性で不動の銀種を生成する。付加的な層を含むことについての他の理由は、他の基板又はチップ搭載構造にはんだ付けして導体との接続、又は隣接するデバイスの相互接続を向上させるためである。

【0026】図16は、そうしないと移動する傾向があるイオンをp電極に追い返すことができる電位にマイグレーション障壁が保持されている、本発明の更なる実施形態を示す。図示された実施形態は、n型層120(例えばn型Ga_{0.5}N_{0.5})と、p型層140(例えばp型Ga_{0.5}N_{0.5})と、これらの間の活性領域130を示す。銀p電極は160で表され、n電極は155で表される。この実施形態におけるマイグレーション障壁は、p電極から間隔をおいてp型層140上に配置される保護リング190である。この例において、p電極は電圧V₁、n電極は電圧V₂、保護リングは電圧V₃であり、ここで、V₁>V₂>V₃である。電圧V₃を電圧V₂よりもわずかに高く保つことで、銀イオンを運ぶ傾向がある電場が生じ、そうしないと電気化学的マイグレーションによってpn接合へ移動する傾向がある銀イオンをp電極に追い返すことができる。

【0027】保護リング又は保護シートはまた、導電性の金属と半導体を相互に組み合わせた多重層構造とするか、場合によっては、これに、導電層間の電気接続の連

成が可能な通路を組み入れた誘電性介在層を組み合わせたものとすることができる。

【0028】この保護シートはまた、銀を取り囲み保護する目的に役立つ。上記の金属に加えて、次の更なる金属が目目される。窒化チタン、窒化タングステン、窒化チタン-タングステン合金。これらの又は他の適当な材料を、スパッタリング、蒸着、又は化学蒸着等のような技術により付着させることができる。出願人らは、特に銀電極上端の縁に隣接した銀電極の「段差」の被覆が、亀裂の生長、粒界の顕現、或いは他の材料欠陥によって損なわれる可能性があることに着目した。亀裂或いは他の欠陥は、汚染物質が通る通路をもたらし得ることがあり、水分が浸透して銀層と反応を起こすことがある。図17の実施形態は、この問題に対処しこれを解決するものである。この図は、上に銀p電極160を有するp型層140(例えばp型Ga_{0.5}N_{0.5})を示す。エッジプロテクタ1791は、電極の縁を覆うように付着され、保護シート(又はリング)1792は、エッジプロテクタと、電極の少なくとも一部を覆う。従って、外側保護シートの段差に亀裂が生長したとしても、エッジプロテクタまで貫入することはない。エッジプロテクタは、最後に付着される導電性の保護シートまでの電気接続が達成できる限り、導電性である必要はない。亀裂を生じることなく銀の縁を覆うように定められた銀の上に付着できる材料が、優先的に選ばれる。このエッジプロテクタはまた、該エッジプロテクタの縁を覆う保護シートの良い段差被覆性が達成されるように、その上に最後の保護シートを付着させることができる材料であることが好ましい。エッジプロテクタのために、Al₂O₃などのような適当な誘電体を用いることができる。

【0029】特定の好ましい実施形態に関連して本発明を説明してきたが、本発明の精神及び範囲において、当業者は変更を行うことができるであろう。例えば、例示の実施形態はp電極における作用の観点から取り上げたものであるが、本発明のマイグレーション障壁を、陰イオン種の電気化学的マイグレーションを含む作用に対してのn電極の保護のために利用することもできることが理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る改良を実行することのできる、同時係属中の米国特許出願第09/151,554号に記載された型式のデバイスの断面図である。

【図2】図1のデバイスの、部分的に平面形態の平面図である。

【図3】図1及び図2のデバイスの簡略化した断面図である。

【図4】本発明によって減少するか又は排除される電気化学的マイグレーションの問題を理解するのに有用な別の簡略化した断面図である。

【図5】メッシュ状メタライゼーション及び接合を示

13

す、ストレス試験前の図1及び図2のデバイスの縁部の走査型電子顕微鏡（SEM）写真であり、ここでは、銀金属がpn接合へ移動していないことを認めることができる。

【図6】メッシュ状メタライゼーション及び接合を示す、ストレス試験前の図1及び図2のデバイスの縁部の走査型電子顕微鏡（SEM）写真であり、ここでは、銀金属がpn接合へ移動していないことを認めることができる。

【図7】pn接合への銀のマイグレーションを示す、加速信頼性試験のストレスを加えた後の図1及び図2のデバイスの角の部分のSEM写真である。

【図8】pn接合への銀のマイグレーションを示す、加速信頼性試験のストレスを加えた後の図1及び図2のデバイスの角の部分のSEM写真である。

【図9】加速信頼性試験のストレスに起因する、pn接合への銀の電気化学的マイグレーションを生じるデバイスに関する出力光の低下を示す、ストレスを加える前及び後のデバイスに関する出力光対順電流のグラフである。

【図10】試験のストレスを加えた後のデバイスに関するI-V曲線の崩れを示す、ストレスを加える前及び後のデバイスに関する電流対電圧のグラフである。

10

20

*

*【図11】本発明の実施形態の改良を含むデバイスの、部分的に平面形態の平面図である。

【図12】図11のデバイスの簡略化した断面図である。

【図13】本発明の改良保護のように銀金属の電気化学的マイグレーションを減少させるか又は排除するのかを理解するのに有用な、図11又は図12のデバイスの簡略化した断面図である。

【図14】本発明の実施形態に係る保護リング保護のよう使用されるのを示す、メッシュ状電極を有するデバイスの簡略化した別の断面図である。

【図15】保護シートを使用する本発明の別の実施形態を示す。

【図16】本発明の更なる実施形態に係るデバイスの簡略化した断面図を示す。

【図17】本発明の更なる実施形態に係るデバイスの一部の簡略化した断面図を示す。

【符号の説明】

120 n型層

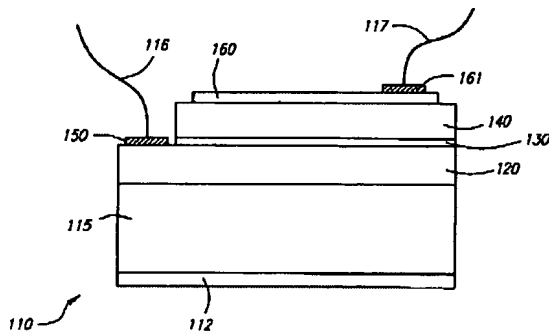
130 活性領域

140 p型層

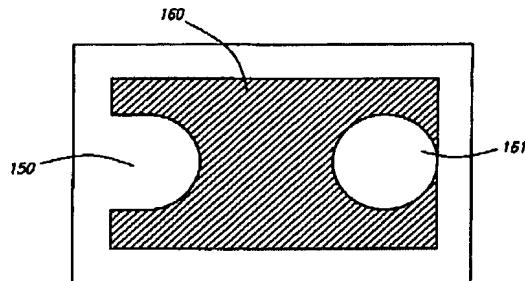
150 n電極

160 p電極

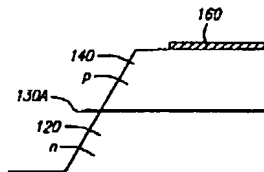
【図1】



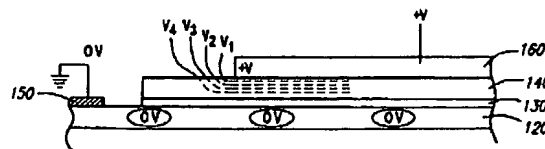
【図2】



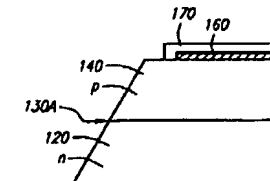
【図3】



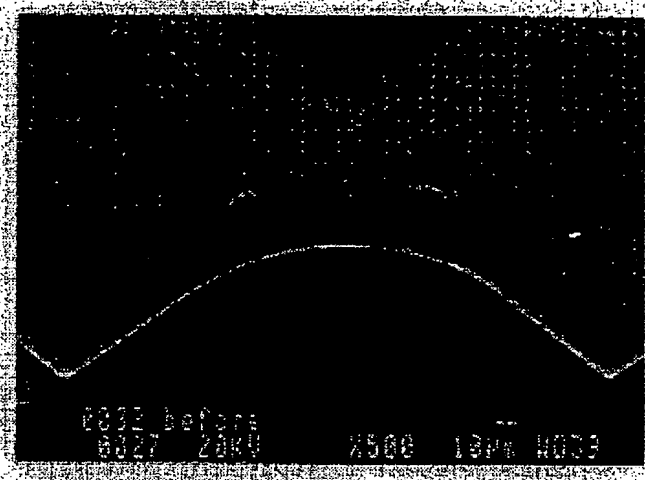
【図4】



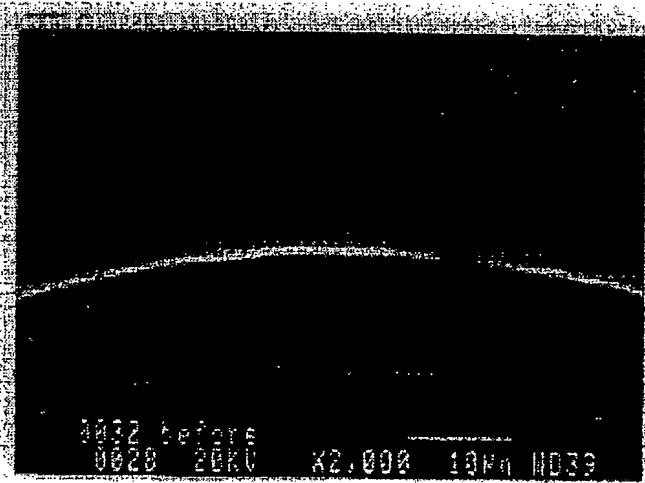
【図12】



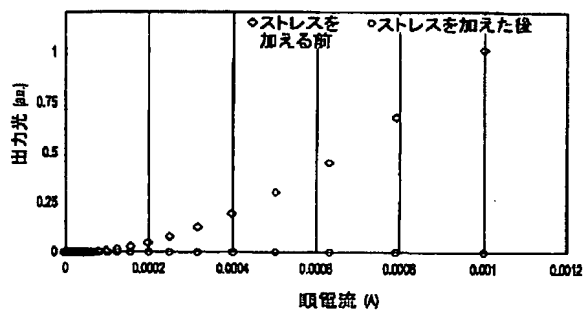
【図5】



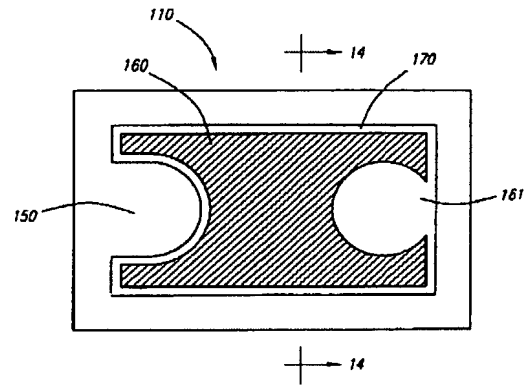
【図6】



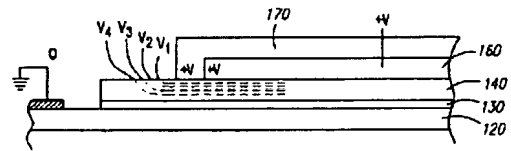
【図9】



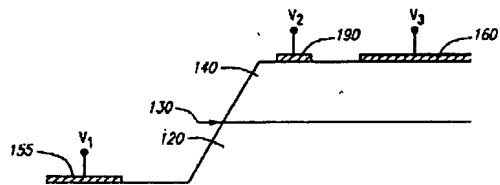
【図11】



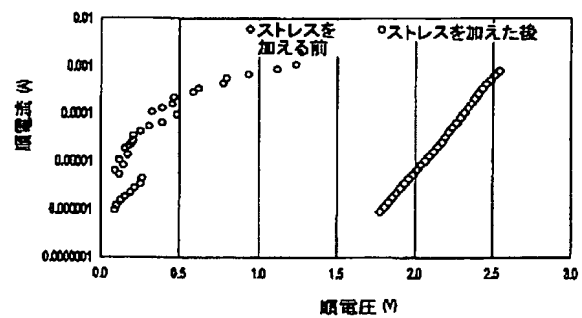
【図13】



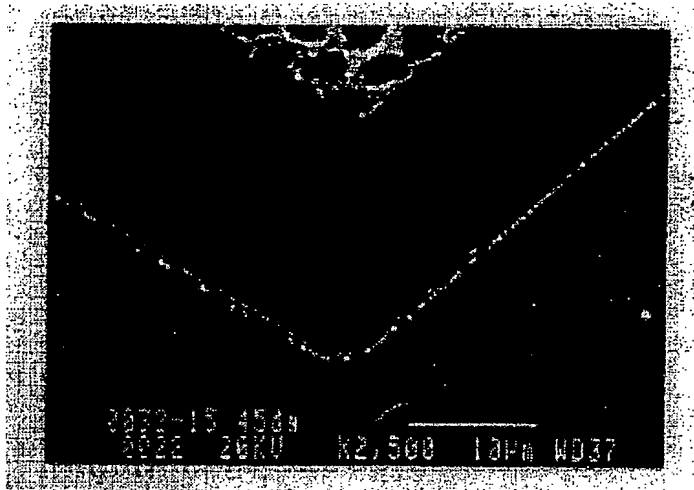
【図16】



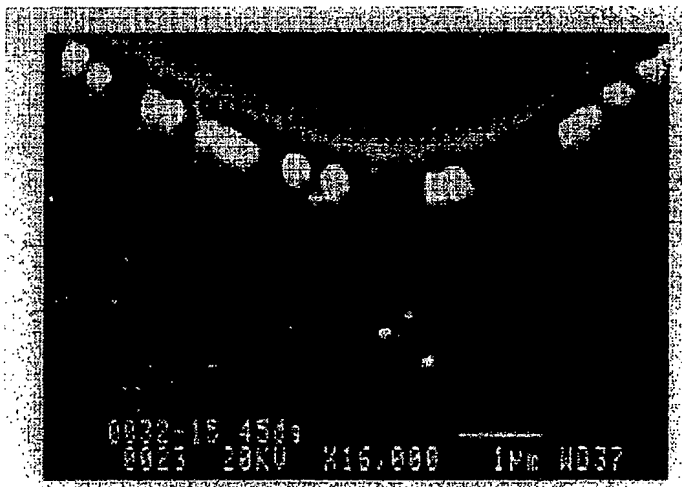
【図10】



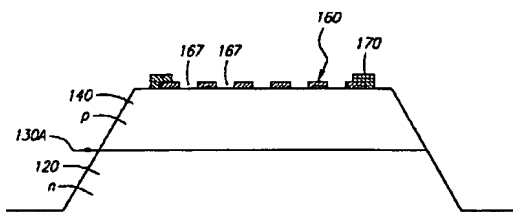
【図7】



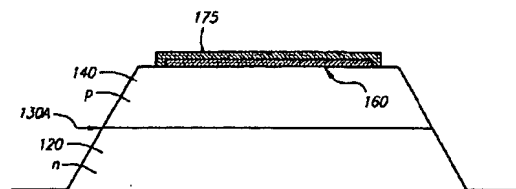
【図8】



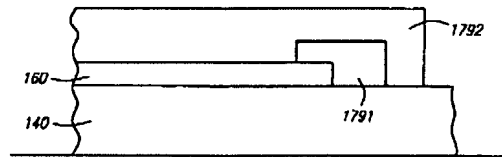
【図14】



【図15】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 マイケル ジェイ ルドワイズ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95129 サン ホセ スリダ ドライヴ
 6555

(72)発明者 スティーヴン エイ マラノフスキー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95124 サン ホセ ウィロウ クリーク
 ドライヴ 1737

(72)発明者 サージ エル ルーダズ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 94086 サニーヴェイル サンセット ア
 ヴェニュー 382

(72)発明者 ジェローム シー パート
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95112 サン ホセ ノース シックス
 ストリート 560 #205

F ターム(参考) 5F041 AA44 CA04 CA05 CA40 CA86
 CA88 CA93 CB15

【外国語明細書】

LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR METHOD AND DEVICE**FIELD OF THE INVENTION**

This invention relates to light emitting semiconductor structures and methods of making same and, more particularly, to devices and methods employing III-V nitride semiconductors and to improving the operation thereof.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Light emitting semiconductors which emit in several regions of the visible spectrum, for example, group III-V semiconductors such as aluminum gallium arsenide and gallium phosphide, have achieved commercial acceptance for various applications. However, for applications which require blue or green light, for example, green to be used for traffic signal lights or blue for a component of a red-green-blue primary color combination to be used for white lighting, efficient semiconductor light emitters have been sought for shorter visible wavelengths. If such solid state light emitting sources were available at reasonable cost, many lighting applications could benefit from the reliability and low energy consumption that characterize semiconductor operation. Short wavelength devices also hold promise of providing increased storage capacity on storage media, due to the ability to obtain smaller spot sizes for writing and reading on the media.

Blue light-emitting diodes utilizing silicon carbide were developed during the early 1990's, but exhibited indirect bandgap luminance which limited the practicality of the devices. Zinc selenide, a group II-VI material, also produces blue light emission. Also, silicon carbide devices, as well as zinc selenide blue light emitting diodes, have been found to exhibit relatively short lifetimes that limit their usefulness.

A type of short wavelength light emitting devices that has direct energy bandgap, and has shown excellent promise, is based on group III-V nitride semiconductors, which include substances such as GaN, AlN, InN, AlInN, GaInN, AlGaInN, AlInGaInN, BAlN, BInN, BGaInN, and BAlGaInN, among others. An example of a light emitting device of this type is set forth in European Patent Publication EP 0926744, which discloses a light emitting device that has an active region between an n-type layer of III-V nitride semiconductor and a p-type layer of III-V nitride semiconductor. An electrical potential applied across the n and p layers of the diode structure causes generation of photons at the active region by recombination of holes and electrons. The wallplug efficiency of the light emitting diode (LED) structure is defined by the optical power emitted by the device per unit of electric power. To maximize efficiency, both the light generated per watt of

drive power and the amount of light exiting from the LED in a useful direction are considered.

As noted in the referenced EP Patent Publication, a considerable effort has been expended in prior art approaches to maximize the light that is generated from the active region. The resistance of the p-type III-V nitride semiconductor layer is much higher than the resistance of the n-type III-V nitride semiconductor layer. The p-electrode junction with the p-type layer is inherently more resistive than the n-electrode junction with the n-type layer. To reduce the voltage drop across the p-electrode junction with p-type layer, the p-electrode is generally made much larger than the n-electrode. However, although this increase in size of the p-electrode may increase the amount of light available from the active region, it can decrease the fraction of light that exits the device, since much of the light must pass through the p-electrode. Accordingly, attempts were made to maximize the transmittance of the p-electrode.

In an embodiment disclosed in the above referenced EP Publication, the p-layer can be a layer of silver that is sufficiently thin to be transparent. It is noted that silver advantageously forms an ohmic contact at the p-type III-V nitride semiconductor layers. A metal bonding pad is deposited on the silver electrode. In another embodiment disclosed in the referenced EP Patent Publication, the silver layer is thick enough to reflect most of the light incident thereon, and light exits via the substrate. A fixation layer, such as another metal layer, which can be nickel, can be applied over and on the sides of the silver layer, and prevents the diffusion of the metal (e.g. gold) of the contact bonding pad into the silver layer. The diffusion barrier layer is also stated to improve the stability of the underlying silver layer and improve the mechanical and electrical characteristics of the silver layer. As a result, it is stated that the substrate temperature during the vapor deposition step in which the silver layer is formed can be lowered and the vapor deposition speed increased.

The use of silver for at least the p-electrode in a III-V nitride LED has advantages, but also suffers certain drawbacks and limitations. For example, the operational lifetime of such devices, before severe degradation of performance, has been found to be unacceptably short. It is among the objects of the present invention to address these drawbacks and limitations in existing III-V nitride LEDs.

SUMMARY OF THE INVENTION

In the copending U.S. Patent Application Serial No. 09/151,554, filed September 11, 1998, and entitled "Light Emitting Device Having A Finely-Patterned Reflective Contact", it is noted that the internally-reflected light in AlInGaN LEDs is particularly susceptible to absorption by the p-layer contact. This contact must cover essentially the entire p-n junction emitting area because current cannot spread laterally in the semiconductor layers. Since the conductivity of the p-type epitaxial layers is extremely low, current is confined directly under the contact metal or to within about 1 μm of the contact edge. In devices disclosed in the copending U.S. Application referenced in this paragraph, the p-contact (that is, the electrode coupled to the p-type layer of III-V nitride semiconductor) comprises a metal layer, or multiple metal layers, having a pattern of small openings. The metal or metals used are preferably selected from the group consisting of silver, aluminum, and rhodium, and alloys thereof. An illustrated electrode or contact is a perforated silver mesh obtained by etching a pattern of holes in a silver layer. An optional dielectric encapsulant, preferably having an index of refraction greater than 1.5, such as silicon dioxide, silicon nitride, aluminum nitride, aluminum oxide, hafnium oxide, or titanium oxide, may be deposited over the p-contact. The encapsulant allows light to be reflected internally above rather than below the silver mirror, which increases its chance for escape without attenuation. In addition, the encapsulant improves the adhesion of the silver film to the LED surface by tacking down the metal at the open spaces across the surface. The dielectric also protects the metal layer from scratches that may occur during fabrication, and protects it from environmental degradation such as oxidation or tarnishing. Typically, in the prior art, LED's were designed, when using opaque contacts (or contact pads), to have the contacts be as small as possible to minimize obscuration of the surface of the LED. In the invention of the copending U.S. Application referenced in this paragraph, the finely patterned electrode can cover the entire surface, or as much thereof as desired, and also can be made as thick as necessary, both of these characteristics serving to minimize contact resistance. As also stated in the referenced copending U.S. Application, light can escape through the small openings in the silver electrode, either directly or after one or more reflections. Use of the small openings is not necessarily preferred at present.

Applicants have noted that the silver electrode metallization is subject to electrochemical migration in the presence of moisture and an electric field, such as, for

example, the field developed as a result of applying an operating voltage at the contacts of the device. Electrochemical migration of the silver metallization to the pn junction of the device results in an alternate shunt path across the junction, which degrades efficiency of the device.

In accordance with a form of the invention, there is defined a light-emitting device which comprises a semiconductor structure having a plurality of semiconductor layers and including an active region within the layers. First and second conductive metal electrodes contact respectively different semiconductor layers of the structure. A migration barrier is provided for preventing migration of metal from at least one of said electrodes onto the surface of the semiconductor layer with which said at least one electrode is in contact.

In one preferred embodiment of the invention, there is defined a light emitting device which comprises a semiconductor structure that includes a light-emitting active region between an n-type layer of III-V nitride semiconductor and a p-type layer of III-V nitride semiconductor. A p-electrode comprising silver metal is deposited on the p-type layer, and an n-electrode is coupled with the n-type layer. Means are provided by which electrical signals can be applied across said electrodes to cause light emission from the active region, and a migration barrier is provided for preventing electrochemical migration of silver metal from the p-electrode toward the active region.

In disclosed embodiments, the migration barrier comprises a guard ring around the periphery of the p-electrode or a guard sheet covering the p-electrode. The guard ring or guard sheet preferably comprises a conductive material such as a conductive metal or semiconductor that is not susceptible to electrochemical migration under the pertinent conditions.

Further features and advantages of the invention will become more readily apparent from the following detailed description when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig. 1 is a cross-sectional view of a device of the type set forth in the copending U.S. Patent Application Serial No. 09/151,554, and in which improvements in accordance with embodiments of the invention can be implemented.

Fig. 2 is a top view, partially in plan form, of the Fig. 1 device.

Fig. 3 is a simplified cross-section of the device of Figs. 1 and 2.

Fig. 4 is another simplified cross-sectional view that is useful in understanding a problem of electrochemical migration that is reduced or eliminated by the invention.

Figs. 5 and 6 are scanning electron microscope (SEM) photographs of an edge of the device of Figs. 1 and 2, before stress testing, showing the mesh metallization and the junction, and wherein it can be seen that silver metal has not migrated toward the pn junction.

Figs. 7 and 8 are SEM photographs of a corner of the device of Figs. 1 and 2 after the stress of accelerated reliability testing, which show the migration of silver to the pn junction.

Fig. 9 is a graph of light output versus forward current for a device before and after stressing, illustrating the deterioration of light output for the device which suffered the electrochemical migration of silver to the pn junction due to the stress of the accelerated reliability testing.

Fig. 10 is a graph of current versus voltage for a device before and after stressing, illustrating the collapse of the I-V curve for the device after the stress of testing.

Fig. 11 is a top view, partially in plan form, of a device including the improvement of an embodiment of the invention.

Fig. 12 shows a simplified cross-sectional view of the Fig. 11 device.

Fig. 13 is a simplified cross-section of the device of Fig. 11 or Fig. 12, useful in understanding how the improvement of the invention operates to reduce or eliminate electrochemical migration of silver metal.

Fig. 14 is another simplified cross sectional view of a device with a mesh electrode, showing how a guard ring in accordance with an embodiment of the invention can be employed.

Fig. 15 illustrates another embodiment of the invention, employing a guard sheet.

Fig. 16 shows a simplified cross sectional view of a device in accordance with a further embodiment of the invention.

Fig. 17 shows a simplified cross-sectional view of a portion of a device in accordance with a still further embodiment of the invention.

DETAILED DESCRIPTION

Figs. 1 illustrates a III-V nitride light emitting diode (LED) 110 that includes a bottom reflective layer 112, a substrate 115, which may be, for example, a sapphire, SiC, or GaN substrate, an n-type layer 120 of a III-V nitride semiconductor, for example,

n-type GaN, and a p-type layer 140 of a III-V nitride semiconductor, for example, p-type GaN. The active region 130 can be the p-n junction itself or, more typically, a single quantum well or multiple quantum wells of III-V nitride between barrier layers of another III-V nitride, for example, using InGaN and AlGaN. (It will be understood that any suitable III-V nitride semiconductors can be used for any of the semiconductor layers of the device, and that suitable additional semiconductor layers can be employed in the device.) A conductive metal electrode 150 (the n-electrode) is deposited on the n-type layer 120 and a conductive metal electrode 160 (the p-electrode) is deposited on the p-type layer 140. As first noted above, the p-electrode conventionally is of much larger area than the n-electrode. As described in the above-referenced copending U.S. Patent Application Serial No. 09/151,554, the p-electrode 160 and the reflector 112 can comprise silver metal, which has advantageous electrically conductive and light reflective properties, and can form an ohmic contact with the p-type layer 140. The silver electrode 160 can comprise a silver mesh with a pattern of openings, as described in the above-referenced copending Application. The finely patterned electrode can cover the entire surface of the p-layer, or as much thereof as desired, and can be made as thick as necessary (both of these characteristics serving to minimize contact resistance), and light can escape through the openings in the p-electrode, either directly or after one or more reflections. A contact pad 161 is deposited on the p-electrode 160. Leads 116 and 117 are respectively attached to the electrode (or contact) 150 and the contact pad 161, and suitable electrical potentials can be applied across the leads.

Fig. 2 shows a top view of a device of the general type shown in Fig. 1, and Fig. 3 is a simplified cross-sectional view of part of the Fig. 2 device. In Figs. 2 and 3, as above, the silver mesh p-electrode is labeled 160, the p-contact pad is labeled 161 (Fig. 2) and the n-electrode is labeled 150. In Fig. 3, the p-type layer is again represented at 140, the n-type layer is again represented at 120, and the pn junction (where active region layers, not shown in this simplified diagram, can be located) is represented at 130A.

Applicants have noted that the silver electrode metallization is subject to electrochemical migration in the presence of moisture and an electric field, such as the field developed as a result of applying an operating voltage at the contacts of the device. Electrochemical migration of the silver metallization to the pn junction of the device results in an alternate shunt path across the junction, which degrades efficiency of the device.

Fig. 4 illustrates the type of potential gradient that occurs adjacent an exemplary silver electrode 160 and causes migration of silver toward the pn junction. Assume, for example, that the n-contact 150 to an exemplary n-type layer 120 (n-type GaN in this example) is at ground potential and that an exemplary p-electrode layer 160 (silver, in this case) is at a potential $+V$. The equipotential surfaces (seen as lines in the cross-section of Fig. 4) in the exemplary p-type layer 140 (p-type GaN, in this example, which generally has much higher resistivity than n-type GaN), are shown in the Fig. as being at potentials V_1, V_2, V_3, \dots , where

$$V > V_1 > V_2 > V_3 \dots$$

Accordingly, the dissolved silver cations, under the influence of this potential gradient, migrate along the surface of the layer 140 and toward the pn junction (at which exemplary active region 130 is located in this example), where it can provide a shunt path that deteriorates device operation.

The loss of efficiency caused by the metal migration is demonstrated in Figs. 5 through 10. Figs. 5 and 6 are SEM photographs of a device of the type diagrammed in Fig. 2, prior to accelerated reliability testing. Fig. 5 shows, at $\times 500$ magnification, from top to bottom, the silver mesh electrode, the p-type layer, the pn junction (curved heavy white line), and the n-type layer. Fig. 6 is a similar SEM photograph at higher magnification ($\times 2000$). In these photographs, no migration of silver to the pn junction is evident. Figs. 7 and 8 are SEM photographs (at $\times 2,500$ and $\times 16,000$ magnifications, respectively) of a similar light emitting diode device after accelerated reliability testing under conditions of 85 degrees C, 85% RH, at 20 mA DC. Silver migration was confirmed by EDX, showing silver droplets (bright spots) forming at the pn junction. Fig. 9 is a graph of light output (L) as a function of forward current (I) for the devices of Figs. 5, 6 (before accelerated reliability testing - square shaped points in the Fig. 9 graph) and Figs. 7, 8 (after accelerated reliability testing - circular shaped points in the Fig. 9 graph). The substantial loss of measurable light output for the device exhibiting electrochemical migration (after the indicated stressed testing) is indicative of the shunting of the pn junction. Fig. 10 shows forward bias I-V curves (using the same graph point symbols for the respective device states; that is, square shaped points for before the stress of reliability testing, and circular shaped points for after the stress of the testing) which demonstrate collapse of the I-V curve for the stressed device, indicative of an alternate conduction path shunting the pn junction.

Figs. 11 and 12 illustrate an embodiment of the invention that employs a migration barrier to prevent migration of the electrode metal, (silver, in this embodiment) toward the pn junction. In the embodiment of Figs. 11 and 12, in which like reference numerals represent elements corresponding to those of Figs. 2 and 3, respectively, the migration barrier is a guard ring 170 formed around the periphery of the p-electrode 160. The guard ring is preferably a material of high electrical conductivity, such as a conductive metal. As seen in Figs. 11 and 12, the guard ring 170 preferably surrounds the entire periphery of the electrode.

Fig. 13 illustrates how the migration barrier of embodiments hereof, in the form of a conductive guard ring and/or guard sheet, operates to prevent the deleterious migration of metal along the surface of the p-type layer 140 and toward the active region at the pn junction. As shown in Fig. 13, at least the edge of the silver p-electrode 160, along the line where its periphery contacts the p-layer 140, is surrounded by the guard ring 170. As seen in the figure, in this example (as in the Fig. 4 example) the p-electrode is again at a potential +V, so the conductive metal guard ring will also be at the potential +V. Again, the equipotential surfaces (lines in the cross-sectional figure) are shown as being at potentials V_1, V_2, V_3, \dots , where

$$V > V_1 > V_2 > V_3 \dots$$

In this case, the surface of p-type layer 160 around the periphery of silver electrode 160 (and under the guard ring 170) will be at substantially the potential +V, and there will be little, if any, potential gradient at the edge of the silver electrode 160 that could cause silver to migrate along the surface of the p-layer and toward the pn junction of the device.

In general, any highly conductive material may be used as a guard ring or as a guard sheet (to be described). For example, the metals, Ni, Ti, W, Al, Cr, Cu, Au, S, Rh, Re, Ru, or combinations or alloys thereof, may be used. In addition, certain stable conducting and semiconducting compounds may be used, for example, the metal silicides, metal nitrides, or highly doped semiconductors. In general, the properties needed are (1) adherence to the silver and the p-type III-V nitride semiconductor; (2) sufficient conductivity to nullify the electrical field at the silver boundary; (3) a compatible method of deposition; (4) a compatible method of patterning the material; (5) absence of electrochemical migration for the selected material in the presence of an electrical field in a moist environment; and (6) controlled mutual solubility and reactivity

with respect to the silver. It will be understood that the listed materials are exemplary, and that other suitable materials can be used.

Fig. 14 shows a simplified cross-sectional view taken through a section defined by arrows 14-14 of Fig. 11, and including illustration of a pattern of openings 167 in the p-electrode, as described in the above-referenced copending U.S. Patent Application Serial No. 09/151,554. The metal guard ring 170 is seen to be configured such that the transmissivity through the openings of the electrode is unaffected.

Fig. 15 shows a further embodiment wherein the migration barrier is a conducting guard sheet 175. This type of configuration can be advantageously employed in applications where the p-electrode is opaque and light generated at the pn junction is extracted in other way(s) from the device, such as in so-called flip-chip or vertical LED types of structures. The guard sheet could also be employed in conjunction with a transparent, or partially transmissive p-electrode by providing an optically transmissive conductive guard sheet using, for example, indium tin oxide.

Other device geometries can employ the principles of the invention. Preferably, the guard ring or guard sheet conductor should encompass the silver thoroughly such that there is no surface electrical pathway from the pn junction to the silver that is not intercepted by the guard conductor. In other words, all the edges of the silver should preferably be covered by the guard conductor. A guard sheet should preferably cover the entirety of the underlying silver so as to provide a physical barrier to etchants and other substances from penetrating to and subsequently reacting with said silver layer during the operational life of the structure. In the case where the p-metal is intended to be opaque, then complete encapsulation of the silver by the guard conductor is the simplest and most effective (e.g. Figs. 15 or 16), although a guard ring geometry can also perform adequately. In the case where the p-metal is made to be optically transmissive to some extent, then the guard ring geometry is preferred unless the guard conductor is optically transparent at the wavelengths of interest. As above noted, a transparent guard sheet (indium tin oxide, for example) may be used.

The guard sheet may contain additional layers or materials which enhance electrical connections or device fabrication in other ways. For example, a layer of material that is chemically reactive with ionic silver species may be included. This reaction would form an insoluble immobile silver species from the ionic species. Other purposes for including additional layers may be to enhance connection to conductors,

soldering to other substrates or chip mounting schemes, or interconnection of adjacent devices.

Fig. 16 shows a further embodiment of the invention in which the migration barrier is held at a potential that tends to repulse ions back toward the p-electrode from which they would otherwise tend to migrate. The illustrated embodiment shows n-type layer 120 (n-type GaN, for example), p-type layer 140 (p-type GaN, for example), and active region 130 therebetween. The silver p-electrode is represented at 160 and the n-electrode is represented at 155. The migration barrier in this embodiment is a guard ring 190, spaced from the p-electrode, on the p-type layer 140. In this example, the p-electrode is at a voltage V_1 , the n-electrode is at a voltage V_1 , and the guard ring is at a voltage V_2 , where $V_2 > V_3 > V_1$. By keeping the voltage V_2 slightly above V_3 , an electric field is generated which tends to drive silver ions, that would otherwise tend to move toward the pn junction due to electrochemical migration, back toward the p-electrode.

The guard ring or guard sheet can also comprise a structure of multiple layers of conducting metals and semiconductors in combination with each other and in possible combination with dielectric interspersing layers which may incorporate vias through which electrical connection between conducting layers can be achieved.

The guard sheet hereof can also serve the purpose of encapsulating and protecting the silver. In addition to the metals already noted above, the following further materials are noted: titanium nitride, tungsten nitride, and nitrogenated titanium-tungsten alloy. These and other suitable materials can be deposited by techniques such as sputtering, evaporation, or chemical vapor deposition. Applicant has noted that coverage of the silver electrode "step" can become compromised by cracking, accentuated grain boundaries, or other material defects, especially adjacent the top edge of the silver electrode. This crack or other defect can provide a path through contaminants, and moisture can penetrate to the silver layer and react with it. The embodiment of Fig. 17 addresses and solves this problem. The Fig. shows p-type layer 140 (p-type GaN, for example) with a silver p-electrode 160 thereon. An edge protector 1791 is deposited over the edge of the electrode, and the guard sheet (or ring) 1792 covers the edge protector and at least part of the electrode. Now, if a crack develops in the step of the outer guard sheet, it will not likely penetrate the edge protector. The edge protector does not have to be conducting so long as electrical connection can be made to the final deposited, conducting guard sheet. A material which deposits over the defined silver such that it

covers the edge of the silver without cracking would preferentially be chosen. This edge protector is also preferably a material over which the final guard sheet can be deposited such that good step coverage of the guard sheet over the edges of the edge protector can be achieved. A suitable dielectric such as Al_2O_3 can be utilized for the edge protector.

The invention has been described with reference to particular preferred embodiments, but variations within the spirit and scope of the invention will occur to those skilled in the art. For example, while the illustrated embodiments dealt with effects at the p-electrode, it will be understood that the migration barrier of the present invention can be utilized for protection at the n-electrode against effects including electrochemical migration of negative ionic species.

CLAIMS:

1. A light-emitting device, comprising:
a semiconductor structure having a plurality of semiconductor layers and including an active region within said layers;
first and second conductive metal electrodes contacting respectively different semiconductor layers of said structure; and
a migration barrier for preventing migration of metal from at least one of said electrodes onto the surface of the semiconductor layer with which said at least one electrode is in contact.
2. The device as defined by claim 1, wherein said at least one electrode comprises a silver-containing electrode.
3. The device as defined by claim 1, wherein said device further includes means for applying electrical signals across said first and second electrodes, and wherein said migration barrier is operative to prevent electrochemical migration of metal from said at least one electrode on said surface of the semiconductor layer with which said electrode is in contact.
4. The device as defined by claim 2, wherein said device further includes means for applying electrical signals across said first and second electrodes, and wherein said migration barrier is operative to prevent electrochemical migration of metal from said at least one electrode on said surface of the semiconductor layer with which said electrode is in contact.
5. The device as defined by claim 1, wherein said plurality of semiconductor layers includes an n-type layer of a III-V nitride semiconductor and a p-type layer of a III-V nitride semiconductor, and wherein said at least one electrode is deposited on said p-type layer.
6. The device as defined by claim 4, wherein said plurality of semiconductor layers includes an n-type layer of a III-V nitride semiconductor and a p-type layer of a III-V

nitride semiconductor, and wherein said at least one electrode is deposited on said p-type layer.

7. The device as defined by claim 5, wherein said device includes an active light-emitting region at the pn junction between said p-type layer and said n-type layer.
8. The device as defined by claim 6, wherein said device includes an active light-emitting region at the pn junction between said p-type layer and said n-type layer.
9. The device as defined by claim 1, wherein said migration barrier comprises a guard ring around the periphery of said at least one electrode.
10. The device as defined by claim 4, wherein said migration barrier comprises a guard ring around the periphery of said at least one electrode.
11. The device as defined by claim 1, wherein said guard ring contacts said at least one electrode.
12. The device as defined by claim 4, wherein said guard ring contacts said at least one electrode.
13. The device as defined by claim 1, wherein said guard ring is spaced from said at least one electrode.
14. The device as defined by claim 4, wherein said guard ring is spaced from said at least one electrode.
15. The device as defined by claim 13, wherein said guard ring is held at a positive potential with respect to the potential of said at least one electrode.
16. The device as defined by claim 14, wherein said guard ring is held at a positive potential with respect to the potential of said at least one electrode.

17. The device as defined by claim 11, wherein said guard ring covers a portion of said surface of the semiconductor layer with which said at least one electrode is in contact.
18. The device as defined by claim 13, wherein said guard ring covers a portion of said surface of the semiconductor layer with which said at least one electrode is in contact.
19. The device as defined by claim 11, wherein said guard ring has a substantially step-shaped cross-section, and also covers the edge of said at least one electrode.
20. The device as defined by claim 12, wherein said guard ring has a substantially step-shaped cross-section, and also covers the edge of said at least one electrode.
21. The device as defined by claim 1, wherein said migration barrier comprises a guard sheet that covers the surface of said at least one electrode.
22. The device as defined by claim 4, wherein said migration barrier comprises a guard sheet that covers the surface of said at least one electrode.
23. The device as defined by claim 10, wherein said guard ring comprises a conductive material.
24. The device as defined by claim 22, wherein said guard sheet comprises a conductive material.
25. The device as defined by claim 23, wherein said conductive material is a conductive metal.
26. The device as defined by claim 24, wherein said conductive material is a conductive metal.
27. The device as defined by claim 25, wherein said conductive metal comprises a metal containing at least one of Ni, Ti, W, Al, Cr, Cu, Au, Sn, Rh, Re, Ru.

28. The device as defined by claim 26, wherein said conductive metal comprises a metal containing at least one of Ni, Ti, W, Al, Cr, Cu, Au, Sn, Rh, Re, Ru.
29. The device as defined by claim 1, wherein said migration barrier includes an edge protector portion which covers an edge of said at least one electrode, and a conductive guard sheet that covers said edge protector portion and at least a portion of said at least one electrode.
30. The device as defined by claim 2, wherein said migration barrier includes an edge protector portion which covers an edge of said at least one electrode, and a conductive guard sheet that covers said edge protector portion and at least a portion of said at least one electrode.
31. The device as defined by claim 30, wherein said edge protector portion comprises a dielectric material.
32. A light emitting device, comprising:
a semiconductor structure that includes a light-emitting active region between an n-type layer of III-V nitride semiconductor and a p-type layer of III-V nitride semiconductor;
a p-electrode comprising silver-containing metal deposited on said p-type layer,
an n-electrode coupled with said n-type layer;
means by which electrical signals can be applied across said electrodes to cause light emission from the active region; and
a migration barrier for preventing electrochemical migration of silver ions from said p-electrode toward the active region.
33. The device as defined by claim 32, wherein said migration barrier comprises a guard ring around the periphery of said p-electrode.
34. The device as defined by claim 33, wherein said guard ring covers a portion of the p-type layer.

35. The device as defined by claim 33, wherein said guard ring contacts said p-electrode.
36. The device as defined by claim 33, wherein said guard ring is spaced from said p-electrode.
37. The device as defined by claim 36, wherein said guard ring is held at a positive potential with respect to the potential of said p-electrode.
38. The device as defined by claim 35, wherein said guard ring has a substantially step-shaped cross-section, and also covers the edge of said p-electrode.
39. The device as defined by claim 32, wherein said migration barrier comprises a guard sheet that covers the surface of said p-electrode.
40. The device as defined by claim 33, wherein said guard ring comprises a conductive material.
41. The device as defined by claim 39, wherein said guard sheet comprises a conductive material.
42. The device as defined by claim 40, wherein said conductive material is a conductive metal.
43. The device as defined by claim 41, wherein said conductive material is a conductive metal.
44. The device as defined by claim 42, wherein said conductive metal comprises a metal containing at least one of Ni, Ti, W, Al, Cr, Cu, Au, Sn, Rh, Re, Ru.
45. The device as defined by claim 43, wherein said conductive metal comprises a metal containing at least one of Ni, Ti, W, Al, Cr, Cu, Au, Sn, Rh, Re, Ru.
46. A method for making a light emitting device, comprising the steps of:

forming a semiconductor structure that includes a light-emitting active region between an n-type layer of III-V nitride semiconductor and a p-type layer of III-V nitride semiconductor;

depositing a p-electrode comprising silver-containing metal on said p-type layer, and an n-electrode on said n-type layer; and

providing a conductive migration barrier around said p-electrode for preventing migration of silver ions from said p-electrode toward the active region.

47. The method as defined by claim 46, wherein said step of providing a conductive migration barrier comprises providing a guard ring around the periphery of said p-electrode.

48. The method as defined by claim 46, wherein said step of providing a conductive migration barrier comprises providing a guard sheet that covers the surface of said p-electrode.

49. The method as defined by claim 47, wherein said step of providing a guard ring comprises providing a guard ring that contacts said p-electrode.

50. The method as defined by claim 47, wherein said step of providing a guard ring comprises providing a guard ring that is spaced from said p-electrode.

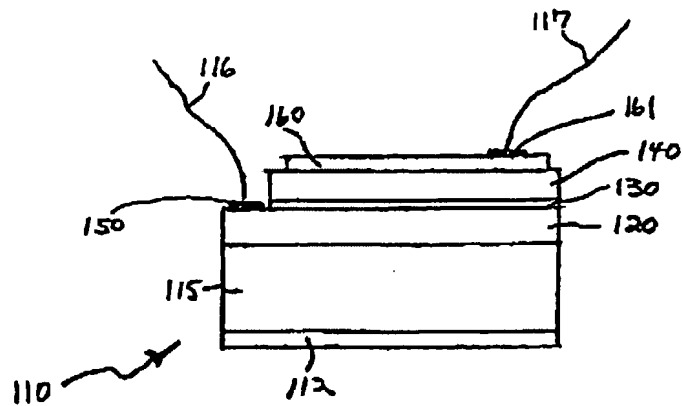


Figure 1

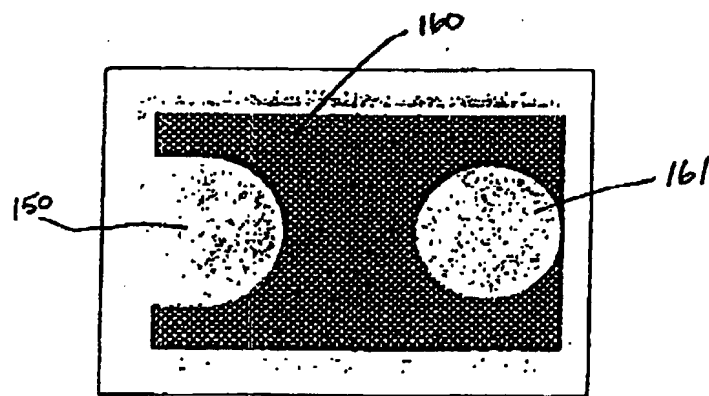


Figure 2

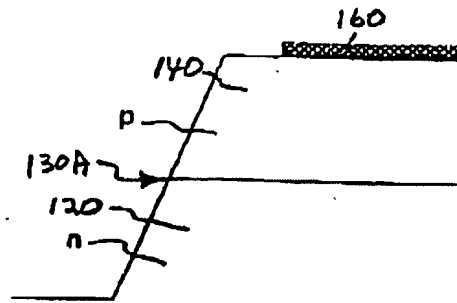


Figure 3

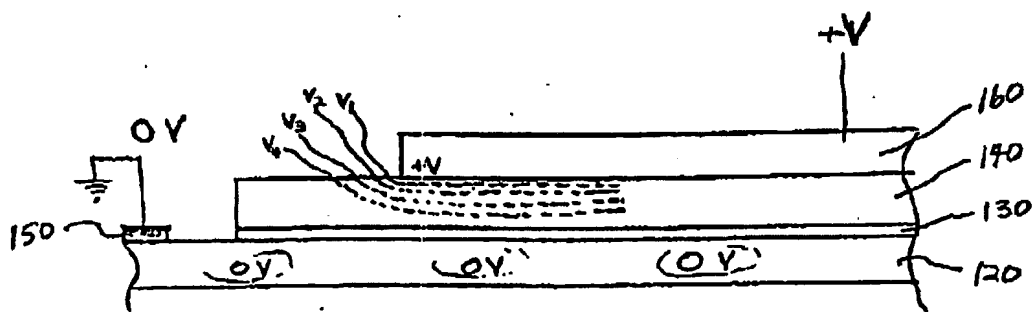
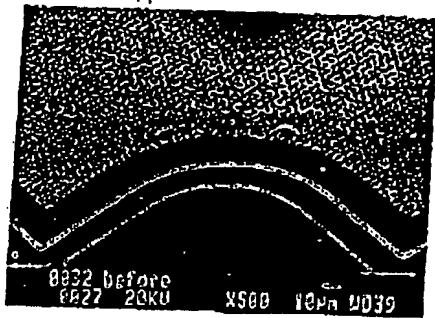
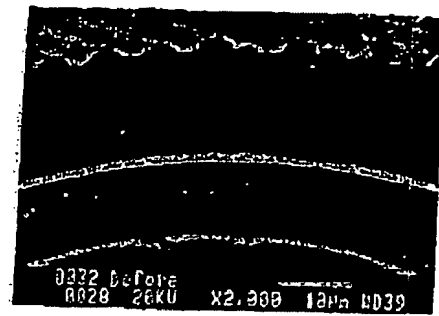
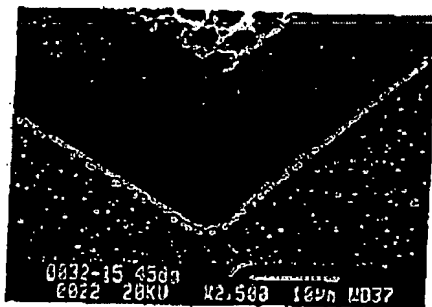
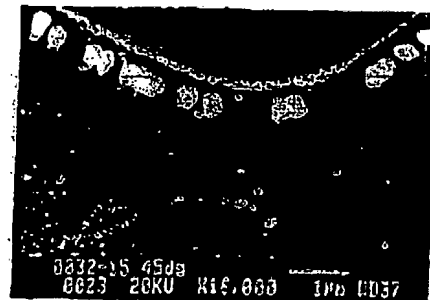
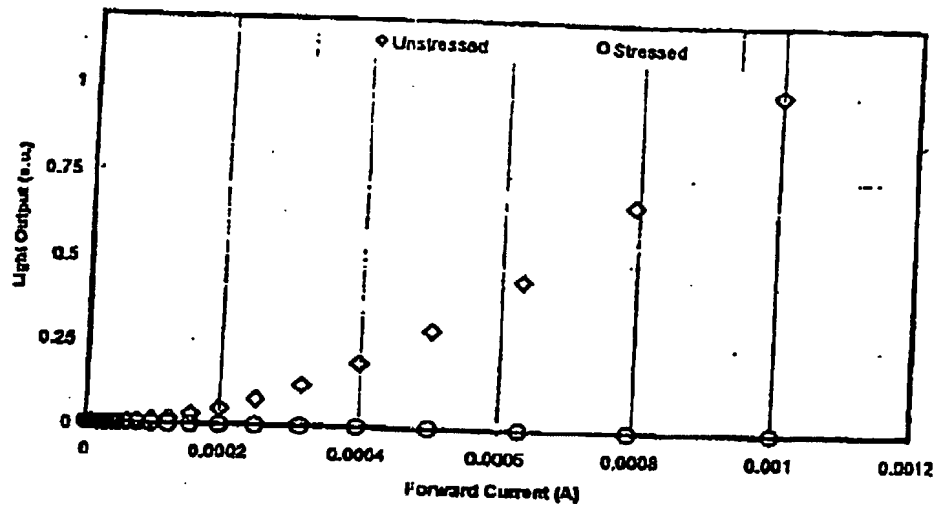
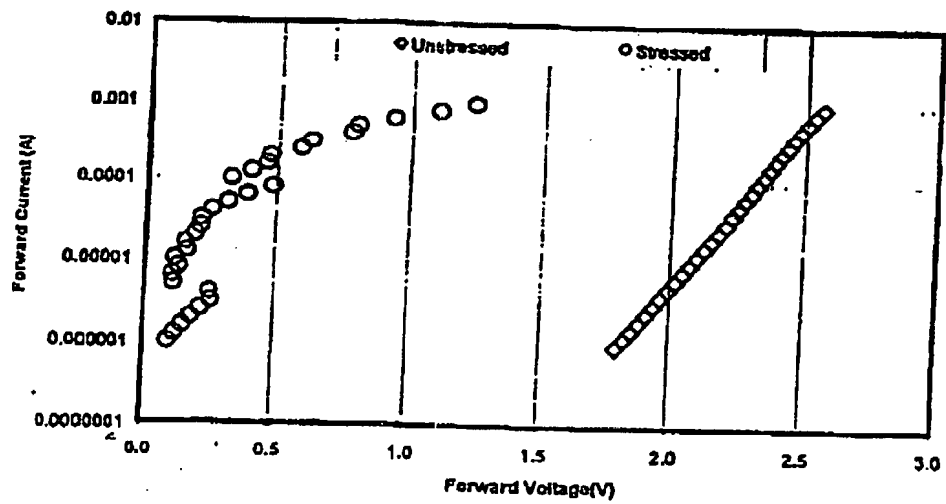


Figure 4

Figure 5Figure 6Figure 7Figure 8

Figure 9Figure 10

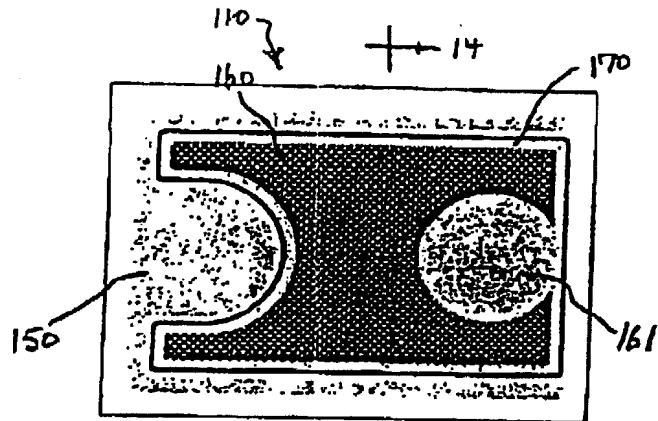


Figure 11

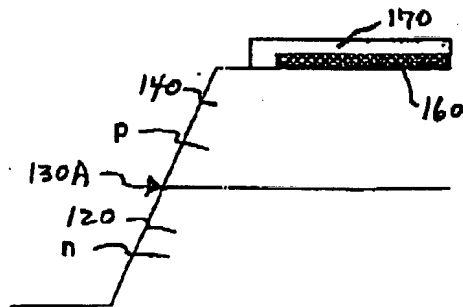


Figure 12

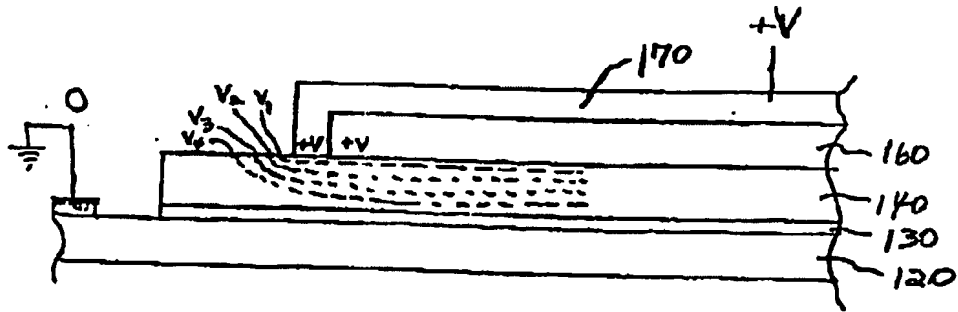


Figure 13.

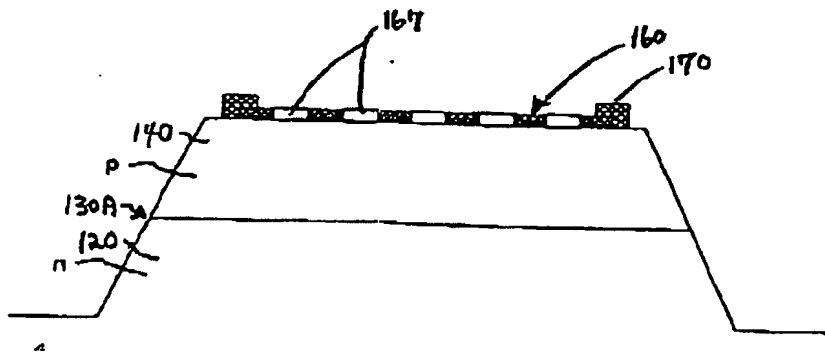
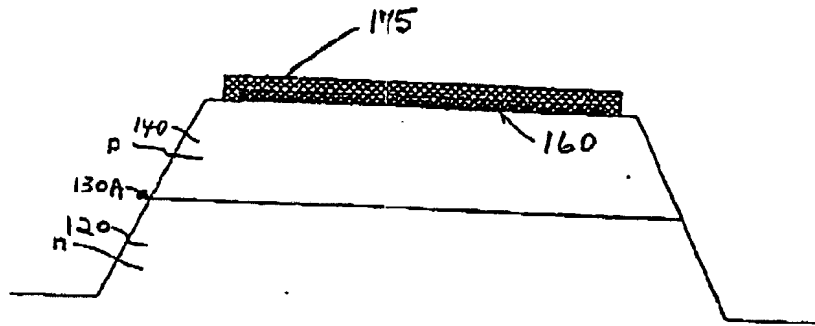
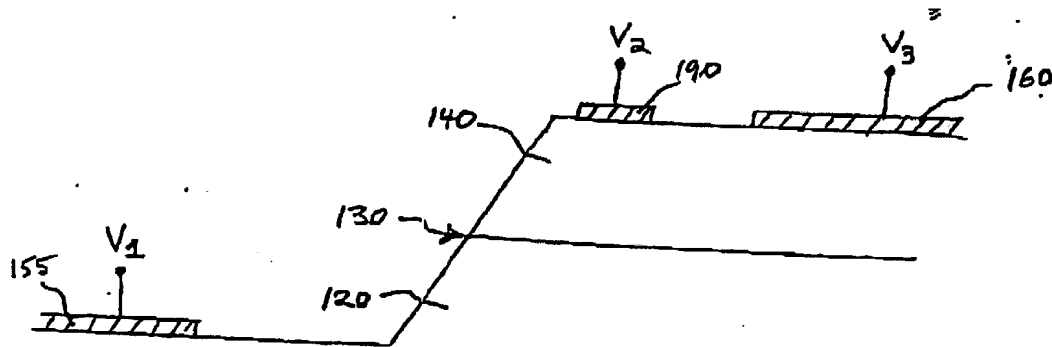
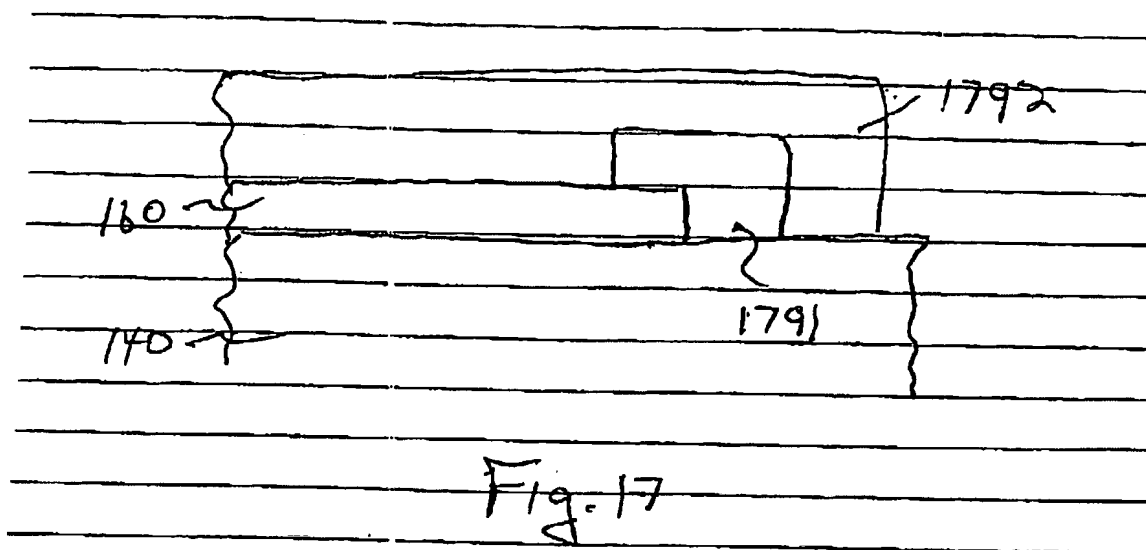


Figure 14

Figure 15Figure 16



ABSTRACT

In accordance with embodiments of the invention, a light emitting device includes a plurality of semiconductor layers, an active region within the layers, and first and second metal electrodes contacting different semiconductor layers. The light emitting device also includes a migration barrier for preventing migration of metal from at least one of the electrodes to the semiconductor layer in contact with the electrode. In some embodiments, one of the electrodes is silver and the semiconductor layers are III-V nitride semiconductor layers. In some embodiments, the migration barrier is a guard ring around the periphery of at least one of the electrodes. In other embodiments, the migration barrier is a guard sheet that covers the surface of at least one of the electrodes.